

기지국 버퍼 상태를 이용한 TCP 성능 향상 기법

김남기*, 김동욱*, 윤현수*

*한국과학기술원 전산학과

e-mail : {ngkim, kimdw, hyoon}@camars.kaist.ac.kr

Improving Wireless TCP Performance Using BS Buffer State

Namgi Kim*, Dongwook Kim*, Hyunsoo Yoon*

*Dept. of Computer Science, Korea Advanced Institute of Science and Technology

요 약

인터넷의 보편화와 더불어 이를 이용한 다양한 서비스가 늘어남에 따라 언제 어디서나 손쉬운 인터넷 접속이 가능하도록 무선 망에서의 인터넷 서비스 제공이 커다란 이슈로 등장하였다. 특히, 차세대 무선 통신 망에서 인터넷 서비스의 역할은 매우 중요한 자리를 차지하며, 무선망에서의 기지국은 이러한 서비스 제공을 위하여 패킷 데이터의 특성을 고려한 한시적인 데이터 저장 기능을 담당하는 버퍼를 가지고 있어야 한다. 왜냐하면 무선 대역폭, 전송 지연, 비트 오류율 같은 무선 통신 환경은 사용자의 수나 무선 신호 감쇄현상, 또는 일시적 신호 저하 등에 의해 동적으로 변화하기 때문이다. 그런데 대부분의 인터넷에서 전송되는 데이터는 TCP 트래픽이므로 이 트래픽의 특성을 고려한 적절한 기지국 버퍼 관리 기법이 필요하다. 그러므로 우리는 본 논문에서 단순한 기지국 버퍼 관리를 통해 TCP 성능을 효율적으로 유지할 수 있는 새로운 기법을 제안한다. 제안하는 버퍼 관리 기법은 TCP 트래픽을 더욱 효과적으로 전송할 수 있을 뿐만 아니라 무선 자원의 낭비를 줄여줄 수 있다. 더 나아가서 이 기법은 기존 기지국에 최소한의 추가 부담만을 줄 뿐만 아니라 무선 단말 장비의 수신 모듈의 변경만을 요구하기 때문에 높은 실용화 가능성을 가진다.

1. 서론

셀룰러 시스템의 성공적인 보급에 힘입어 기존의 유선 망에 국한되었던 여러 통신 서비스가 무선 망 영역으로 확대되었다. 더욱이, 3 세대 이후 이동통신 시스템에서는 패킷 통신 방식에 의한 무선 인터넷 서비스를 제공하고자 하며, 보다 나은 서비스를 위하여 꾸준한 연구가 진행 중이다. 이동통신 시스템에서 보다 많은 사용자에게 보다 좋은 서비스를 제공해 주기 위해선 무선 자원의 효율적인 관리가 반드시 필요하다. 데이터 전송 능력 측면에서 유선으로 구축된 기존의 통신망 여건과 비교해 볼 때 무선 채널을 이용한 통신 자원은 한정된 대역폭으로 인해 제한된 전송 용량만을 허용하는 대단히 값비싼 자원이라 볼 수 있다. 따라서 우리는 기존의 유선 망에서 소용되는 대부분의 데이터인 TCP 트래픽을 그대로 무선 망으로 보낼 수 없고 데이터의 전송 관리 또한 무선환경에 맞게 향상시켜야 한다.

그러므로 본 논문에서는 차세대 이동 통신 시스템에서 보다 효과적인 무선 자원 관리와 효율적인 TCP 트래픽의 전송을 위해 버퍼 상태를 이용한 TCP 성능 향상 기법을 제안하고자 한다. 제안하는 TCP 성능 향상 기법은 무선 환경에서의 TCP 트래픽의 효과적인 전송을 보장할 뿐만 아니라, 기지국에서 요구되는 버퍼의 크기를 절감하면서도 버퍼 관리를 위해 기지국에서 유지 갱신하는 정보를 두지 않음으로써 기지국 내 부하를 최소화하여 차세대 이동 통신 시스템에 쉽게 적용할 수 있도록 제안되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 무선 이동 통신 시스템의 개념적 구조와 특성을 살펴 보고 무선 TCP 성능 향상에 대한 기존 연구와 그 문제점들을 살펴 본다. 제 3 장에서는 본 논문의 핵심인 차세대 무선 이동 통신 시스템에서의 버퍼 관리 기법을 제안하고 제 4 장에서 제안한 기법의 성능 검증을 위한 실험 방법과 그 결과를 소개한다.

마지막으로 제 5 장에서는 본 논문의 결론과 아울러 앞으로의 연구 방향을 제시 한다.

2. 기본 배경과 관련연구

2.1. 이동 통신 시스템의 개념적 구조 및 특성

그림 1 은 이동 통신 시스템에서 패킷 데이터 서비스를 받기 위한 개념적 구조를 나타내고 있다.

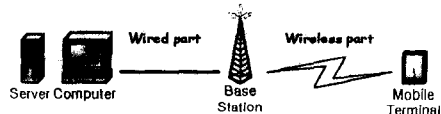


그림 1. 인터넷 서비스를 위한 개념적인 이동 통신 시스템 구조

위의 통신 과정 속에서 여러 가지 문제점들이 발생하는데, 우선 기지국에서의 병목 현상은 현재의 통신 기술상 유선 구간의 대역폭이 무선 구간의 대역폭보다 크다는 점에 기인하는 것으로 대부분의 무선 이동 통신 시스템에서 피할 수 없는 구조적 문제이다. 또, 무선 구간의 링크가 끊어 지는 현상은 무선 통신의 신호 특성, 급속한 신호 감쇄 현상이나 일시적 채널 부족, 혹은 핸드오프 등에 의해 발생한다. 이러한 접속 상태의 단절은 TCP의 제어 메커니즘에서 시간 초과 현상(Timeout effect)을 야기해 TCP 성능을 심각하게 저하시킬 수 있다.

2.2 무선 TCP 성능 향상을 위한 기존 연구 및 문제점

위와 같은 문제점에 착안하여 무선 채널의 불안정성에 의

해 발생하는 TCP 시간 초과 현상을 극복하기 위한 방법으로 크게 연결 분리 접근법 (split-connection approach), 패킷 제어 접근법 (packet control approach), 프로토콜 기반 접근법 (protocol-based approach)이 있다.

우선, 연결 분리 접근법은 유선 구간과 무선 구간의 TCP 연결을 분리해 유선 구간에서는 기존의 TCP 를 사용하고 무선 구간에서는 무선 환경에 적합한 새로운 프로토콜을 사용하는 방법이다. 이 방법은 무선 구간의 효율성을 극대화할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 기지국에서 유선 프로토콜과 무선 프로토콜 사이의 교환이 이루어져야 하고 기지국이 모든 연결에 대한 매핑 정보를 저장해야 하기 때문에 기지국에 너무 많은 부하를 가져와 비 현실적이다 [3]. 그리고 패킷 제어 접근법은 연결 분리 접근법과 달리 유무선 간의 연결을 분리하지 않는다. 즉 기지국에서 TCP 패킷을 보관하고 관찰하다가 무선 구간의 불안정성으로 인해 패킷이 손실되거나 효율적이지 못한 사태가 발생할 경우 보관하고 있던 패킷을 이용해 이를 극복하는 방법이다. 이 접근법은 종단간 TCP 연결을 유지하면서 무선 TCP 성능을 크게 향상시킬 수 있지만 이 또한 기지국이 모든 TCP 연결에 대한 핼핑 정보와 각 연결에 사용된 패킷을 보관해야 하기 때문에 기지국 부하가 여전히 매우 크다 [4, 5]. 마지막으로 프로토콜 기반 접근법은 TCP 프로토콜을 수정하거나 발전된 TCP 프로토콜 버전을 사용함으로써 무선 TCP 성능을 향상시키는 접근법이다. 이 접근법은 기지국의 도움 없이도 적용할 수 있고 하부 시스템 구조와 무관하게 동작할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 하지만 이 접근법에 속하는 대부분의 기법들이 이미 유선 구간의 서버에 장착되어 원활한 서비스를 제공하고 있는 TCP 송신자 모듈의 수정이나 교체하기를 요구하기 때문에 매우 비 현실적이다 [1, 6, 7, 8].

3. 버퍼 관리를 통한 TCP 성능 향상 기법

본 논문에서는 무선 환경에서 TCP 성능을 향상시킬 수 있는 간단하면서도 효과적인 해법을 제시하고자 한다. 이 아이디어의 핵심은 기지국의 버퍼 상태 변화를 관찰하여 실제 데이터를 수신하는 단말기의 수신 윈도우의 크기를 동적으로 변화시키는 것이다. 그림 2 은 이 기법을 개념적으로 보여 준다.

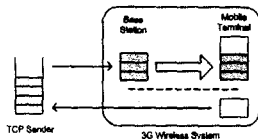


그림 2. 단순 버퍼 관리 기법

즉, 이 기법은 버퍼에 쌓인 데이터의 양만큼 데이터를 수신할 단말기의 허용 한도 값인 수신 윈도우를 미리 줄여주는 것이다. 이러한 일련의 동작을 통해 우리는 TCP 가 무선 환경의 상태를 반영할 수 있도록 만들 수 있다. 여기서 기지국의 버퍼 상태에 대해 수신 윈도우가 즉각적으로 반응하면 기지국 버퍼에서 데이터의 양이 늘어났다 줄어 들었다 하는 요요 현상 (YoYo Effect)이 발생하게 된다. 그림 3 은 기지국 버퍼에서 발생하는 요요 현상을 도식적으로 나타낸 것이다. 이를 제거하기 위해서 우리는 현재 수신 윈도우 크기를 이전 윈도우 크기와 비교하며 적응적으로 천천히 변화시켜야 하는데 그 식은 다음과 같다.

수신 윈도우 값 = $a * \text{기지국 버퍼로부터 받은 데이터 양을 통해 계}$

산된 수신 윈도우 값 + $(1-a) * \text{과거의 수신 윈도우 값}$

즉 과거의 수신 윈도우 값과 a 값을 통해 현 수신 윈도우 값을 평탄화 시키는 것이다. 실험에서는 a 값을 0.5 로 두었다.

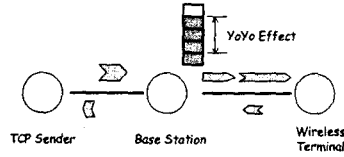


그림 3. 기지국 버퍼 요요 현상

제안한 단순 버퍼 관리 기법을 통하여, 단말기는 무선 망의 여건이 허용하는 수준의 데이터만을 요구하게 됨으로써 기지국의 버퍼는 항상 적절한 수준의 데이터를 유지할 수 있게 된다. 또한 이런 동작을 통하여 TCP 성능이 저하되는 것을 막을 수 있다. 따라서 이 기법은 버퍼 공간 등의 무선 통신을 위한 제한 자원의 활용도를 증진시켜 줄 뿐만 아니라 무선 망 환경이 급작스럽게 변하는 상황에서도 무선 환경이 허용하는 한 송신 측과 수신 측 양단 간의 TCP 전송 속도를 일정하게 유지해 줄 수 있다. 무엇보다도, 제안한 버퍼 관리 기법은 버퍼의 데이터 양을 줄여줌으로써 통신 단절 상태가 발생 하더라도 무선 자원의 낭비를 최소화 할 수 있고 동시에 TCP 시간 초과 현상 발생시 불필요하게 발생하는 재전송해야 할 데이터의 양을 최소화 할 수 있다는 장점을 지닌다.

4. 모의 실험

4.1. 실험 환경 설정

이 장에서는 제시한 단순 버퍼 관리 기법의 실험과 그 결과를 분석 해 본다. 실험을 위해 우리는 ns 시뮬레이터 [4] 를 사용하였다. 그림 4 은 실험 환경을 나타낸다.

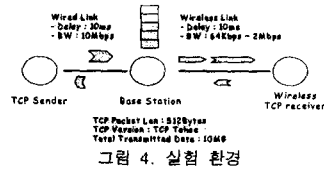


그림 4. 실험 환경

그리고, TCP 시간 초과 현상이 발생하면 TCP 는 다음 번 전송을 시도하는 시간까지의 대기 시간인 서버 측의 TCP 타임아웃을 기하 급수적으로 증대 시킨다. 즉 설사 연결이 재설정 되었다고 해도 서버와 단말기 간에는 상당히 긴 시간만큼의 대기 시간을 가지게 되는 것이다. 이러한 불필요한 대기 시간을 없애기 위해 우리는 Triplicate Reconnection ACKs 를 사용하였다.

4.2. 실험 결과 분석

그림 5 에서는 4KB, 8KB 와 같이 작은 크기의 고정된 수신 윈도우를 사용하면 적은 양의 데이터가 버퍼에 쌓이는 것을 보여준다. 하지만 그림 6 에서 보이는 바와 같이 작은 크기의 고정 수신 윈도우는 무선 환경이 개선되어 무선 전송 대역폭이 1Mbps 이상으로 커질 때 TCP 전송 성능이 크게 떨어짐을 알 수 있다. 이는 기지국의 버퍼에서 무선 구간으로 보내야 할 데이터가 기지국 버퍼에 원활히 도착하지

않아 무선 자원이 높게 되기 때문이다. 한편 16KB, 64KB 와 같이 비교적 큰 고정 수신 윈도우를 사용할 경우, TCP 전송 성능은 보장되지만 그림 5 에서 보여주는 바와 같이 버퍼에 많은 데이터가 쌓이게 됨에 따라, 결국 그림 7 에서처럼 서버로부터 단말기까지 도달하는데 걸리는 평균 전송 시간을 증대 시키게 된다. 그림에서 보듯 큰 고정 수신 윈도우를 사용할 경우 무선 환경이 악화되어 전송 대역폭에 작아질 때 평균 데이터 전송 시간이 급격히 증가함을 알 수 있다.

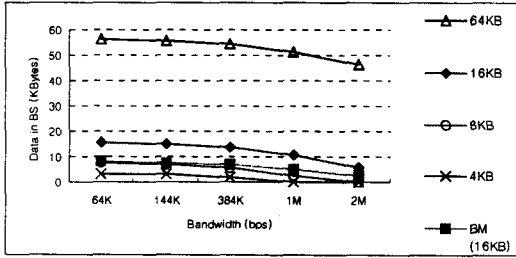


그림 5. 기지국 버퍼의 평균 데이터 양

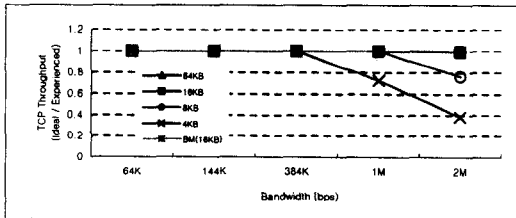


그림 6. TCP 전송 성능

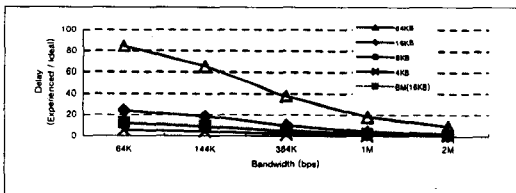


그림 7. 평균 패킷 전송 시간

다음으로 제한한 단순 버퍼 관리 기법이 동적으로 변화하는 무선 환경에서 값비싼 무선 자원의 낭비를 얼마만큼 줄여줄 수 있는지 알아 보기 위하여 또 다른 실험을 수행하였다.

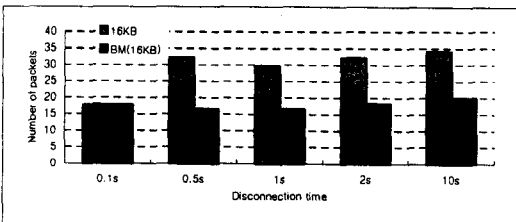


그림 8. 접속 중단에 의한 손실 및 재전송된 패킷 양

그림 8 은 각각의 접속 중단 지연시간을 적용함에 따라 발생한 손실된 데이터 패킷 또는 이중으로 전송된 패킷의

평균 개수를 나타내고 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 우리가 제안한 단순 버퍼 관리 기법은 이 기법이 적용되지 않은 기존의 고정된 16KB 의 수신 윈도우를 사용하는 환경과 비교할 때 데이터 패킷의 손실 및 이중 전송량이 대략 반정도로 줄이는 것을 알 수 있다. 이를 통해 우리는 제안하는 버퍼 관리 기법을 사용할 경우 무선 구간이 빈번히 단절되는 상황에서도 무선 자원 낭비를 현저히 줄일 수 있음을 알 수 있게 되었다.

5. 결론 및 차후 연구 방향

본 논문에서는 차세대 이동 통신 시스템에서 동적으로 변화하는 무선 환경에서 기존 TCP 의 성능과 이를 개선하기 위해 기지국 버퍼 상태를 이용한 TCP 성능 향상 기법에 대해 알아 보았다.

이 TCP 성능 향상 기법은 동적으로 변화하는 무선 환경에서 TCP 의 수신 윈도우를 적절히 조절하여 무선 TCP 성능을 향상시킨다. 즉 무선 환경이 악화되면 수신 윈도우 크기를 줄여 기지국 버퍼에 쌓이는 데이터 양이 급격히 늘어나는 것을 방지해 중단간 TCP 전송 시간이 급격히 늘어나는 것을 방지하고, 반대로 무선 환경이 개선되면 수신 윈도우 크기를 늘려 기지국 버퍼에 데이터가 쌓이지 않아서 TCP 전송 성능이 저하되는 현상을 방지한다. 또한 기지국 버퍼의 데이터 양을 적절히 유지하기 때문에 무선 채널의 일시적 끊김으로 인해 낭비되는 무선 자원의 양을 최소화할 수 있다. 특히 이 기법은 다른 무선 TCP 성능 향상 기법들에 비해 TCP 연결 마다 기지국에서 정보를 보관하거나 관리할 필요가 없기 때문에 기지국에 부하를 크게 주지 않는 장점을 가진다. 따라서 우리는 앞으로의 연구를 통해 다양한 형태의 데이터 트래픽이 존재할 경우 TCP 성능이 어떻게 변화하고, 이를 향상시키기 위해 기지국 버퍼를 어떻게 관리해야 하는지 연구해 볼 계획이다. 그리고 본 연구에서는 각 사용자가 각각 독립된 무선 채널을 가진다고 고려하였는데 여러 사용자가 동시에 무선 채널을 공유할 때 발생할 수 있는 문제점에 대해 파악해 보고, 개선 방안 등에 대해 연구해 볼 계획이다.

참고 문헌

- [1] Tom Goff, James Moronski and D. S. Phatak, "Freeze-TCP: A true end-to-end TCP enhancement mechanism for mobile environments," in *Proceedings of IEEE INFOCOM 2000*, March 2000.
- [2] R. Braden, "Requirements for Internet Hosts -- Communication Layers," RFC 1122, Internet Engineering Task Force, Oct. 1989.
- [3] A.V. Bakre and B.R. Badrinath, "Implementation and performance evaluation of Indirect TCP," *IEEE Trans. on Computers*, vol.46, March 1997.
- [4] H. Balakrishnan, S. Seshan and R. Katz, "Improving TCP/IP performance over wireless networks," *Proc. ACM MOBICOM*, Berkeley, USA, Nov. 1995.
- [5] K. Brown and S. Singh, "M-TCP: TCP for mobile cellular networks," *ACM Computer Communications Review*, vol.27, no.5, 1997.
- [6] P. Sinha, N. Venkitaraman, R. Sivakumar and V. Bharghavan, "WTCP: a reliable transport protocol for wireless wide-area networks," *Proc. ACM MOBICOM*, Seattle, USA, 1999.
- [7] R. Ramani and A. Karandikar, "ECN in TCP over wireless networks," *Proc. IEEE ICPWC*, Hyderabad, India, Dec. 2000.
- [8] C. Parsa and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Improving TCP performance over wireless network at the link layer," *ACM Mobile Networks and Applications Journal*, vol.5, Mar. 2000.